基于 Fisher-Pry 模型的纤维素预处理技术成熟度分析

靳军宝[1,2,3] 吴新年[1,3*] 白光祖[1,3] 郑玉荣[1,3] 曲建升[1,3]

(1. 中国科学院西北生态环境资源研究院，甘肃 兰州 730000；2. 中国科学院大学，北京 100049；3. 中国科学院兰州文献情报中心，甘肃 兰州 730000；)

摘要：为了研究纤维素预处理技术成熟度情况，本文基于多源文献数据利用 Fisher-Pry 模型对蒸汽爆破法、酸处理法、碱处理法和生物法等主要预处理技术成熟度进行了研究。结果表明，蒸汽爆破法、酸预处理法及碱预处理法从 2005 年之后快速发展，目前基本处于成熟阶段，但由于这些方法本身存在水解产生抑制性产物、腐蚀性、成本高等缺陷，很难取得进一步的突破。而生物法目前还正处于快速成长阶段，具有很大的前景，经过 Fisher-Pry 曲线拟合，预计生物法到 2043 年左右达到成熟。

关键词：Fisher-Pry 模型 纤维素预处理 技术成熟度

中图分类号：S216 **文献标志码：**A **论文编号：**

The cellulose pretreatment Technology maturity based on Fisher-Pry model

JIN Junbao[1,2,3] WU Xinnian[1,3] BAI Guangzu[1,3] ZHENG Yurong[1,3] QU Jiansheng[1,3]

(1.Northwest Institute of Eco-Environment and Resources，Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China; 2.University of Chinese Academy of Sciences，Beijing 100049，China; Lanzhou Library of Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China; 3.Gansu Academy of Mechanical Sciences, Lanzhou 730030, China)

Abstract: In order to study the maturity of cellulose pretreatment technology, the maturity of main pretreatment technologies such as steam explosion method, acid treatment method, alkali treatment method and biological method was studied based on multi-source literature data using Fisher-Pry model. The results show that the steam explosion method, acid pretreatment method, and alkali pretreatment method have developed rapidly since 2005 and are currently at a mature stage. However, due to the fact that these methods have inhibitory products, hydrolysis corrosion and high cost, it is difficult to make further breakthroughs. The biological method is still in a period of rapid growth and has great prospects. After the Fisher-Pry curve fitting, it is expected that the biological method will reach maturity around 2043 based on Fisher-Pry model.

Key words: Fisher-Pry model Cellulose pretreatment Technology Technology maturity

1 引言

木质纤维素（包括农作物秸秆、林业副产品等）作为地球上最丰富的可再生资源之一[1]，对其实现高效利用有助于解决能源危机、资源紧张、环境恶化等问题。木质纤维素主要含有纤维素、半纤维素和木质素，利用其制备燃料通常需要预处理、水解和发酵三个步骤[2]，其中预处理过程是最关键的步骤，处理结果直接关系到后续酶解效率和得糖率[3]。

目前常用的预处理方法有物理法（包括机械粉碎法、高能辐射法、热水处理法、微波处理法等）、物理化学法（包括蒸汽爆破法、氨纤维爆破法、电催化法等）、化学法（包括酸处理法、碱处理法、臭氧处理法、有机试剂法、离子液体处理法等）和生物法[4-5]。为了研究各方面的技术成熟度，本文利用 Fisher-Pry 模型，采用多源数据对蒸汽爆破法、酸处理法、碱处理法和生物法等主要预处理技术成熟度进行了研究。

目前，判断技术成熟度方法主要有美国 NASA 提出的 TRL 等级法[6-7]、TRIZ 法[8-9]、专利指标分析法[10-11]、Fisher-Pry 模型等方法，其中 Fisher-Pry 模型已经成为研究技术成熟度相对准确率最高的方法之一[12]。Fisher-Pry 模型最早由 Fisher 和 Pry[13]于 1971 年发表的一篇

收稿日期：
基金项目：国家社科基金项目（编号：17CTQ023），中国科学院兰州文献情报中心主任基金项目（Y7AJ012004）。
作者简介：靳军宝，男，博士研究生，从事情报理论与方法、知识产权研究。 E-mail：jinjb@llas.com.cn。

文章中提出，之后众多学者用其评价技术成熟度[14-15]。因此，本文基于 SCI、EI、专利、商业报道等多源数据，利用 Fisher-Pry 模型对纤维素预处理技术成熟度进行分析研究。

2 研究方法与数据来源

2.1 研究方法

为了判断一项技术所处的发展阶段，进而预测其未来发展趋势，通常用技术成熟度判断某项技术在开发过程中所达到的成熟程度，而文献资料通常可以记录并反映技术发展历程和脉络（其中基础研究用 SCI 文献数据来表征，应用研究用 EI 文献数据来表征，技术研发用专利文献数据来表征，应用及社会效用用商业报道文献数据来表征）。因此，利用技术研究文献可以在一定程度上评估技术发展阶段和预测技术生命周期阶段。

本研究选取 Fisher-Pry 模型，研究多元数据对最终拟合结果的影响，从而避免利用单一论文数据进行拟合分析带来的误差。技术发展通常经过起步阶段、成长阶段、成熟阶段和衰退阶段，Fisher-Pry 模型实质是对技术发展各阶段的数学模型化，具体公式如下：

$$y=\frac{L}{1+e^{-\alpha-\beta t}} \qquad (1)$$

其中，y 为待测指标，t 为时间，α为常数，β为增长率，L 增长极限。

2.2 数据来源

专利数据来源于 DII 数据库，DII 是以德温特世界专利索引（Derwent World Patent Index）和德温特世界专利引文索引（Patents Citation Index）为基础形成的专利信息和专利引文信息数据库，是世界上最大的专利文献数据库，收录了来自全球 47 个专利机构（涵盖 100 多个国家，包括中国的实用新型专利信息）的超过 2000 万条基本发明专利、4000 多万条专利情报，数据可回溯到 1963 年。基础研究文献数据来源于 WOS 中 SCI 数据库。应用研究文献数据来源于 EI 数据库。商业报道信息来源于 Factiva 数据库，基础研究文献数据来源于 WOS 中的 SCI 数据库，应用研究文献数据来源于 EI 数据库，商业报道信息来源于 Factiva 数据库（Factiva 是全球领先的商业及新闻在线数据库）。

表 1 研发各阶段表征特征

Table 1 The research and development characteristics of each stage

研发阶段	表征文献	数据来源
基础研究	SCI	WOS 数据库
应用研究	EI	EI 数据库
技术研发	专利	DII 数据库
应用及社会效用	商业报道	Factiva

本文分别构建蒸汽爆破法、酸处理法、碱处理法和生物法检索式，分别在 WOS 数据库、EI 数据库、DII 数据库和 Factiva 数据库中利用对应的规则进行检索。由于专利数据具有一定的滞后性，因此检索时间选为 1963-2015 年。

2.3 数据处理过程

在以 Fisher-Pry 为模型绘制技术成熟度曲线之前，本文采用 Min-Max 数据标准化方法，对多源数据合并后的文献数据进行标准化处理，以计算公式（1）中的α和β。然后将公式（1）进行对数变换，转化为如下线性关系形式：

$$\ln\frac{y}{1-y}=\beta t-ln\alpha \qquad (2)$$

公式（2）相当于一个以 ln（y/(1-y)）为因变量， t 为自变量的一元线性回归方程。利用 SPSS 软件，计算技术发展的 Fisher-Pry 模型参数值。将α和β的回归估计值代入公式（1），

便可分别绘制产业技术发展的 Fisher-Pry 曲线。

3 结果与分析

为了判断各主要预处理方法所处的技术阶段，本文选取蒸汽爆破法、酸处理法、碱处理法及生物预处理法等 4 种主要预处理技术方法，分别对各预处理技术方法做技术成熟度曲线，进而判断该技术所处的阶段。

3.1 蒸汽爆破法

图 1 为全球范围内蒸汽爆破法预处理木质纤维素研究文献量年度变化情况，从中可以看出，2005 年之后相关文献量开始快速增长，但由于专利数据的滞后性，近两年的专利数据仅供参考。

从世界范围内蒸汽爆破法的 Fishier-Pry 曲线（图 2）比较可以看出，蒸汽爆破法从 2005 年开始起步，之后该技术成熟度增长迅速，目前该技术处在相对比较成熟阶段。但由于该技术存在半纤维素水解产生抑制性产物、部分木聚糖被破坏等缺陷，很难取得突破。因此，该技术要取得进一步突破，必须与其他方法相结合才能实现。

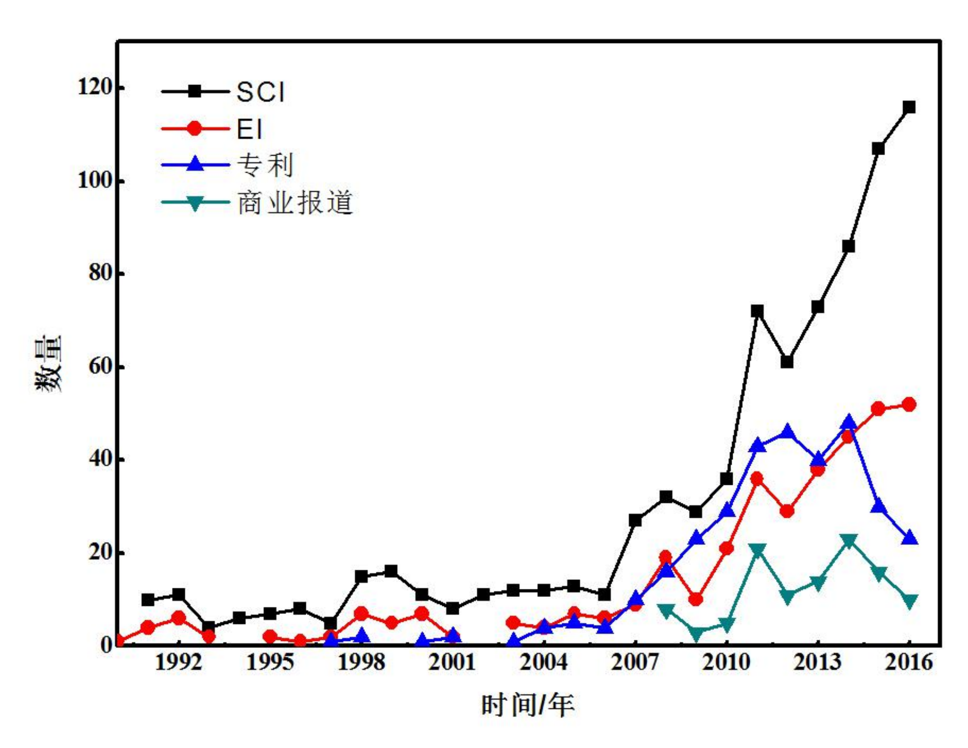


图 1　蒸汽爆破法研究文献量年度变化情况

Fig. 1 The change of literature of cellulose pretreatment technology by steam explosion method

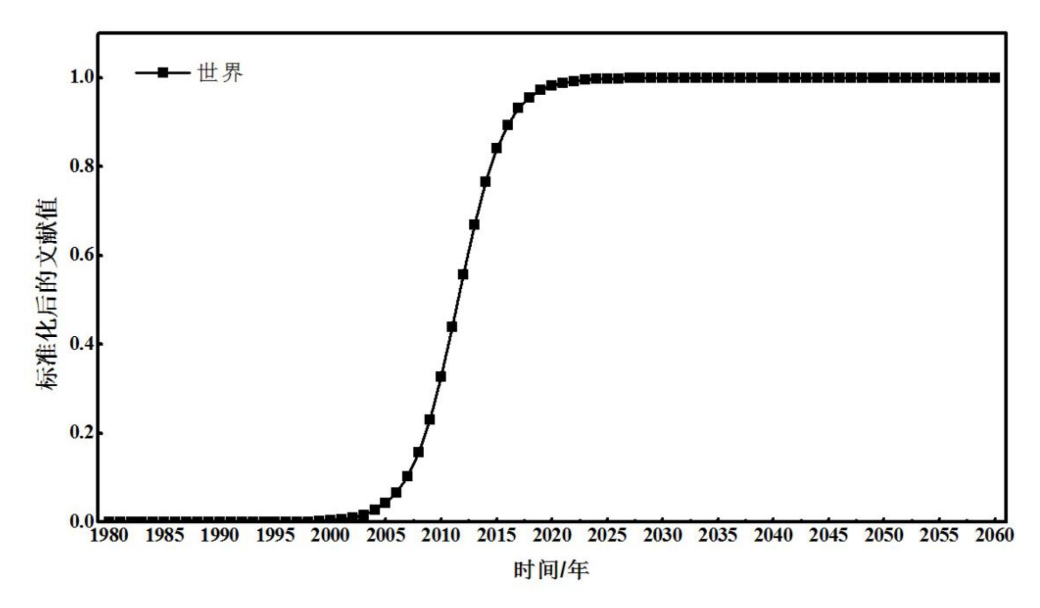


图 2　蒸汽爆破法的 Fishier-Pry 曲线比较

Fig. 2 The Fisher-pry curve of cellulose pretreatment technology by steam explosion method

5.2　酸处理法

图 3 为全球范围内酸处理法预处理木质纤维素研究文献量年度变化情况，从中可以看出，在全球范围内，酸处理法基础研究（SCI 论文）、应用研究（EI 论文）、技术研发（专利）和产业化应用（商业报道）均从 2006 年开始快速发展。

从世界范围内酸处理法的 Fishier-Pry 曲线（图 4）比较可以看出，该技术也是从 2005 年左右成熟度增长迅速，目前该技术处在相对比较成熟阶段。但由于该技术存在发酵前需要进行脱毒处理、酸具有腐蚀性及酸回收成本高等因素，很难取得进一步突破。因此，该技术要取得进一步突破，也必须与其他方法相结合才能实现。

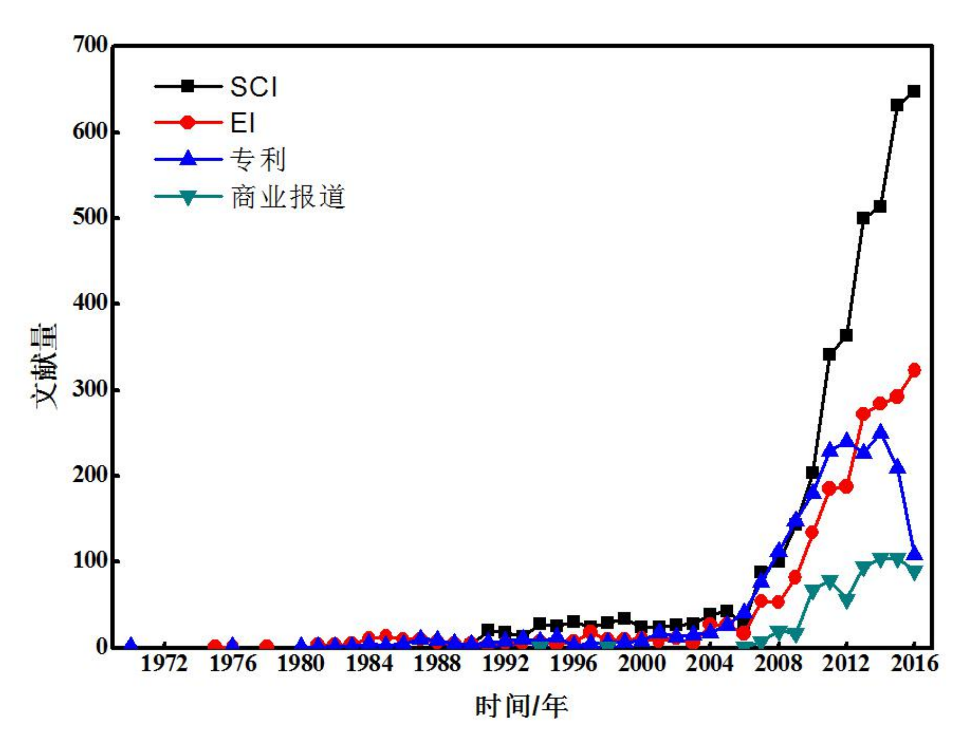


图 3　酸处理法研究文献量年度变化情况

Fig. 3 The change of literature of cellulose pretreatment technology by acid method

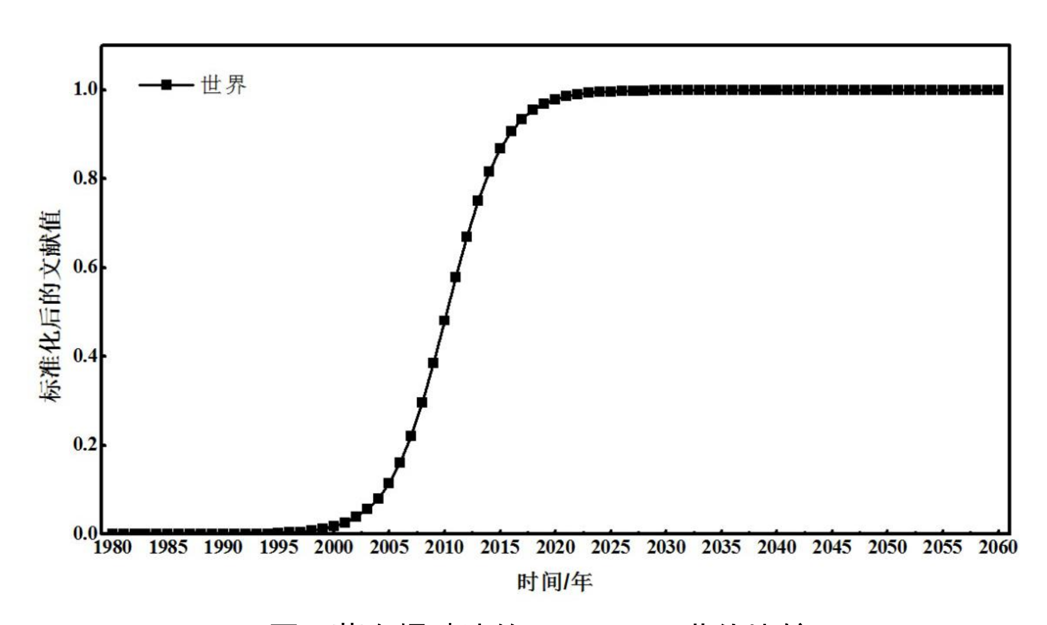


图 4 蒸汽爆破法的 Fishier-Pry 曲线比较

Fig. 4 The Fisher-pry curve of cellulose pretreatment technology by acid method

5.3　碱处理法

图 5 为全球范围内碱处理法预处理木质纤维素研究的文献量年度变化情况，从中可以看出，碱处理法的 SCI、EI、专利及商业报道文献均从 2005 年之后开始呈现快速增长趋势，专利数据从 2011 年开始趋于稳定，由于专利数据的滞后性，近两年的数据仅供参考。

从世界范围内碱处理法的 Fishier-Pry 曲线（图 6）比较可以看出，该技术从 2000 年左

右开始起步，2005 年开始快速增长，目前处于相对成熟阶段。而我国碱处理法从 2005 年开始起步，之后该技术成熟度增长迅速，目前该技术处在相对比较成熟阶段。但由于该技术存在相对于其它溶剂，碱成本很高，低温下需要的处理时间较长，形成不可回收的盐等问题，很难取得进一步应用突破。因此，该技术要取得进一步突破，也必须与其他方法相结合才能实现。

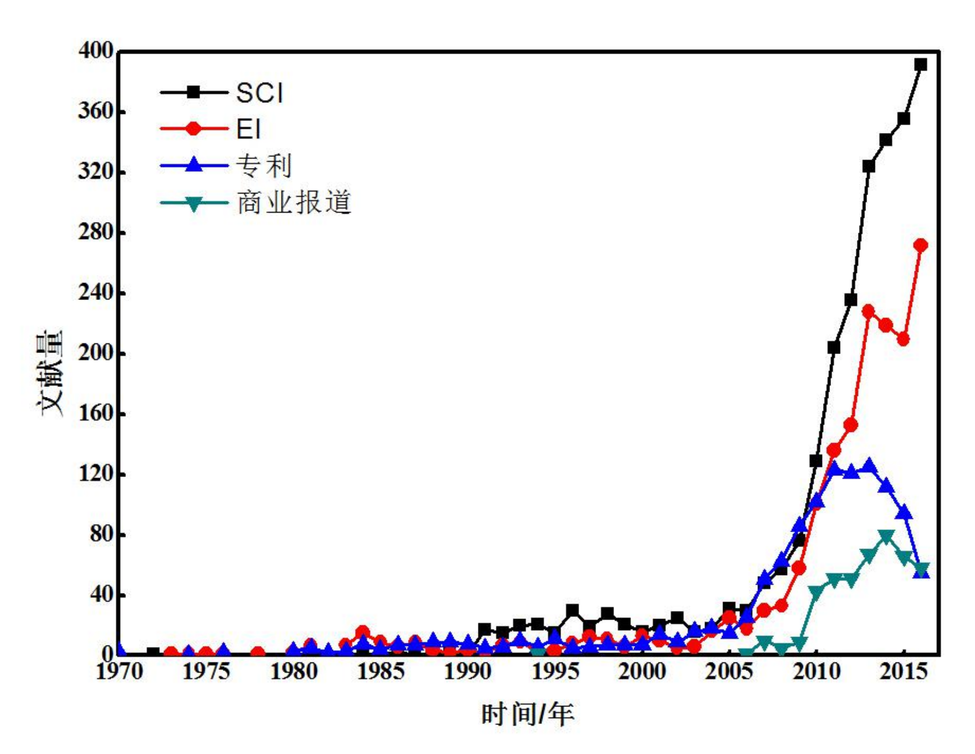


图 5 碱处理法研究的文献量年度变化情况

Fig. 5 The change of literature of cellulose pretreatment technology by alkaline method

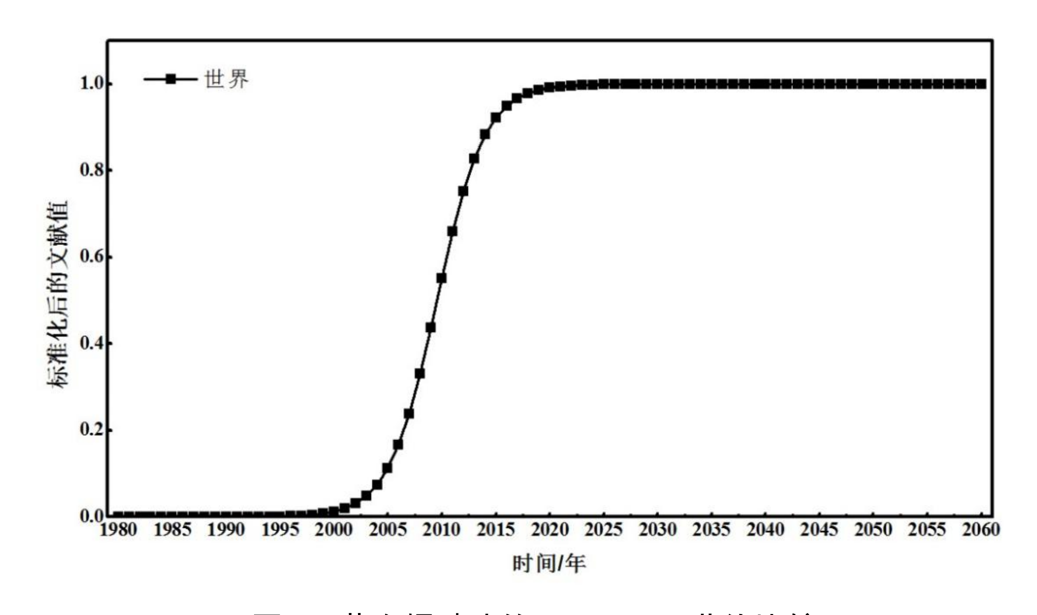


图 6　蒸汽爆破法的 Fishier-Pry 曲线比较

Fig. 6 The Fisher-pry curve of cellulose pretreatment technology by alkaline method

5.4　生物处理法

图 7 为全球范围内木质纤维素生物预处理法研究文献量年度变化情况，从中可以看出，上世纪 80 年代开始有相关研究，到 2006 年之后相关文献量开始快速增长。由于专利数据的滞后性，近两年的专利数据仅供参考。

在生物预处理法的 Fishier-Pry 曲线（图 8）比较可以看出，世界范围内，该技术从上世纪 80 年代开始起步，2000 年之后开始快速增长，目前仍处于增长期。

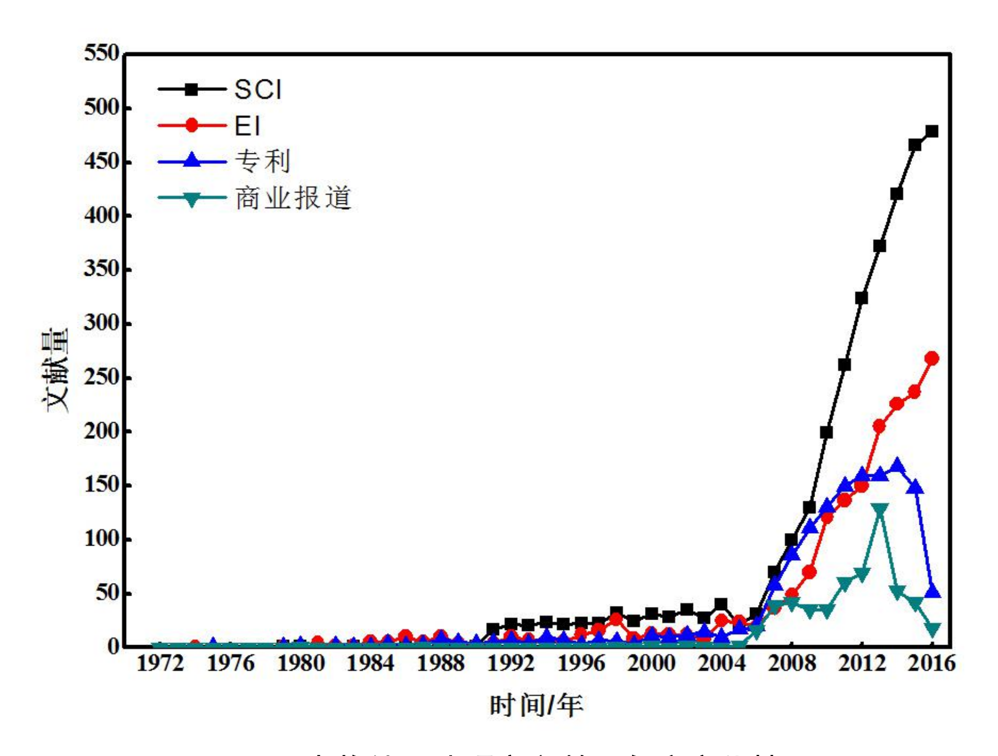


图 7　生物处理法研究文献量年度变化情况

Fig. 7 The change of literature of cellulose pretreatment technology by biological method

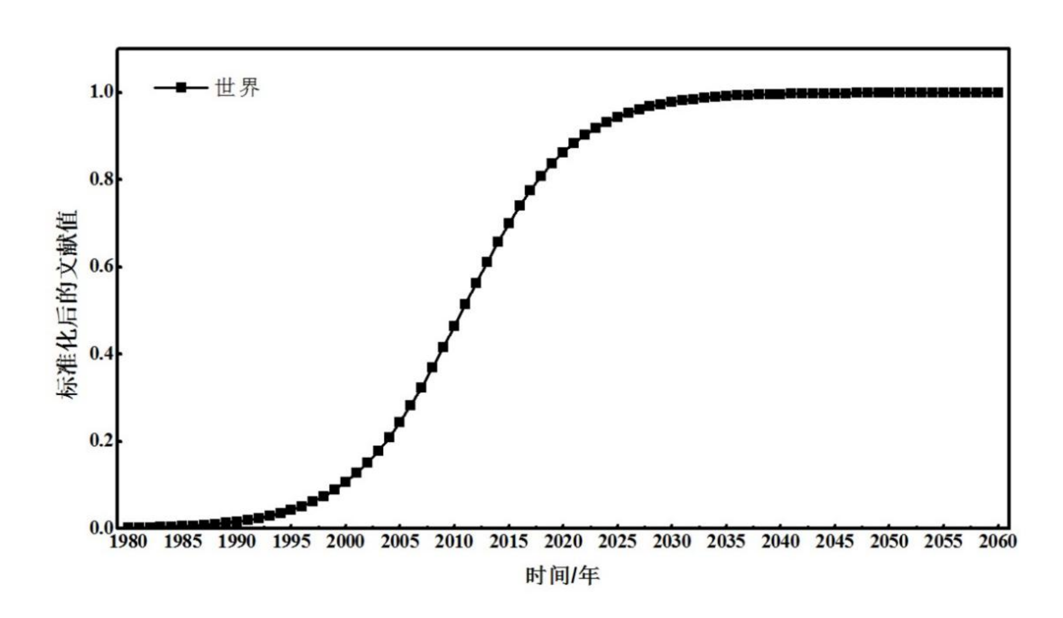


图 8　生物预处理法的 Fishier-Pry 曲线

Fig. 8 The Fisher-pry curve of cellulose pretreatment technology by biological method

5.5 主要预处理技术成熟度对比

图 9 可以看出，蒸汽爆破法、酸预处理法及碱预处理法从 2005 年之后快速发展，目前基本处于成熟阶段，但这些方法都存在水解产生抑制性产物、腐蚀性、成本高等缺陷，无法取得更大的突破。而生物法目前还正处于快速成长阶段，具有很大的前景。

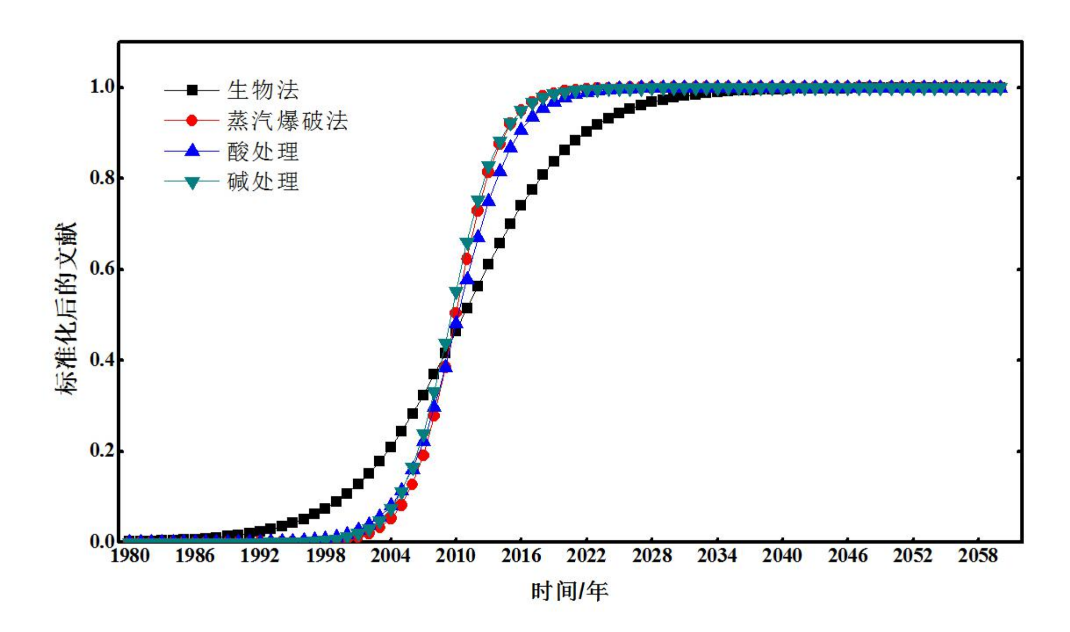


图 9　各木质纤维素预处理法的 Fishier-Pry 曲线比较

Fig. 9 The Comparison of Fishery-pry curves for cellulose pretreatment technology

4 结语

为了判断多种木质纤维素降解技术点的发展阶段，进而预测其未来发展趋势，用技术成熟度判断某项技术在开发过程中所达到的成熟程度，而文献资料通常可以记录并反映技术发展历程和脉络（其中基础研究用 SCI 论文来表征，应用研究用 EI 论文来表征，技术研发用专利数据来表征，应用及社会效用用商业报道信息来表征），利用技术研究文献可以在一定程度上评估技术发展阶段和预测技术生命周期阶段。

本文利用 Fisher-Pry 模型，采用文献计量方法对纤维素降解预处理技术成熟度进行研究，结果表明，蒸汽爆破法、酸预处理法及碱预处理法从 2005 年之后快速发展，目前基本处于成熟阶段，但由于这些方法本身存在水解产生抑制性产物、腐蚀性、成本高等缺陷，无法取得更大的突破。而生物法目前还正处于快速成长阶段，具有很大的前景。经过 Fisher-Pry 曲线拟合，预计生物法到 2043 年左右达到成熟。但该结论只是基于多源数据分析得出的结论，到时该技术是否能够实现成熟，还受产业环境、投入情况等各方面因素的影响。

参考文献：

[1]胡秋龙，熊兴耀，谭琳，等.木质纤维素生物质预处理技术的研究进展[J].中国农学通报，2011，27(10):1-7.

Hu Qiulong, Xiong Xingyao, Tan Lin, et al. Advances in Pretreatment Technologies of Lignocellulosic Biomass [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2011,27(10): 1-7.

[2]王晓娟，冯浩，王斌，等.两步法预处理制备生物质燃料乙醇[J].农业过程学报，2012，

28(5):194-200.
Wang Xiaojuan, Feng Hao, Wang Bin, et al. Investigation of two-step pretreatment method for roduction of ethanol from lignocellulosic biomass[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012,28(5): 194-200.
[3]王晓娟，王斌，冯浩，等. 木质纤维素类生物质制备生物乙醇研究进展[J].石油与天然气化工，2007，36(6)：452-461.
Wang Xiaojuan, Wang Bin, Feng Hao et al. Researchadvancement of bioethanol preparation from lignocellulosic biomass[J]. Chem Eng of Oil and Gas, 2007, 36(6): 452-461. (in Chinese with English abstract)
[4]靳胜英，张福琴，张礼安. 木质纤维原料制乙醇原料预处理技术[J].中国工程科学，2008，11(1)：82-88.
Jin Shengying, Zhang Fuqin, Zhang Li'an. Pretreatment method of lignocellulosic materials for bioethanol production[J]. Eng Science, 2008, 11(1): 82-88. (in Chinese with Englishabstract)
[5]Zhang Y P. Reviving the carbohydrate economy via multiproduct lignocellulose biorefineries[J]. J. Ind. Microbiol. Biotechnol, 2008, 35(5): 367-375.
[6]Mankins J C. Technology Readiness Levels: A White Paper[R].Washington, DC: NASA, 1995.
[7]John C. Mankins. Technology Readiness Levels［E］，1995.
[8]Gemot Muetler, President M D. Accurately and rapidly predicting next-generation product breakthrough in the medical-devices, disposable shaving systems, and cosmetic industries[J/OL]. http://www.triz-journal.tom, 2010-09-20.
[9]Human B. A system for case-based process planning[J]. Computers in Industry, 1991,17(2):169-180.
[10]Michael W. Frauens. Improved Selection of Technically Attractive Projects Using Knowledge Management and Net Interactive Tools〔Z〕. thesis,MIT,2000. 6,9.
[11]Slocum M S. Technology Maturity Using S- curve Descriptors〔 EB/OL〕. http://www. triz-journal. corn/archives/1998/12/a/index. htm.
[12]Intepe Gizem,Bozdag Erhan,Koc Tufan. The selection of technology forecasting method using a multi-criteria interval-valued intuitionistic fuzzy group decision making approach [J]. COMPUTERS & INDUSTRIAL ENGINEERING,2013,65(2):277-285
[13]Fisher J C, Pry R H. A simple substitution model for technological change[J]. Technological Forecasting and Social Change, 1971(3):75-88.
[14]Daim T, Rueda G, Martin H, et al. Forecasting emerging technologies: use of bibliometrics and patent analysis[J]. Forecasting and Social Change, 2006,73(8):981-1012.
[15]李欣，黄鲁成. 基于文献计量的染料敏化太阳能光伏技术可视化分析[J].情报杂志，2013，12（32）,98-122.
Li Xin, Huang Lucheng. Visualization Analysis of Dye－sensitized Solar Cells Technology Based on Bibliometric[J]. JOUＲNAL OF INTELLIGENCE, 2013,12(32):98-122.